

K.-P. Zimmermann¹, P. Gehrke¹, J. Neugebauer²

Experimentelle Untersuchung zum Einfluss materialabhängiger Bildartefakte auf die Beurteilbarkeit im digitalen Volumentomogramm

Experimental study on the influence of material-related artefacts on cone-beam CT assessment

Einführung: Im Rahmen dieser Studie wurde mithilfe eines neu entwickelten Phantomkopfes der Einfluss von materialabhängigen Bildartefakten auf die Beurteilbarkeit der Bildqualität von dreidimensionalen Röntgenbildern untersucht.

Material und Methode: Hierfür wurden eine Oxidkeramik- und eine NEM-Brücke zur Versorgung der Schalllücke von 22 bis 26 in einem Oberkiefermodell des Phantoms hergestellt. Mit beiden Brücken wurden je 6 nach Kontrast- und Belichtungseinstellung unterschiedliche DVT-Aufnahmen angefertigt. Aus diesen 12 Datensätzen wurden je 8 zu beurteilende Screenshots gewonnen. Diese 96 Screenshots wurden von 5 Zahnärzten sowie 5 Fachzahnärzten für Oralchirurgie nach dem festgestellten Artefakteinfluss qualitativ beurteilt.

Ergebnisse: Anhand der Auswertung der Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass der Einfluss einer Keramikversorgung auf die Artefaktbildung im DVT deutlich geringer ist als der Einfluss einer metallbasierten Versorgung. Der Einfluss der Kontrast- bzw. Belichtungseinstellungen auf die Beurteilung der verschiedenen regions of interest (ROI) war bei der kumulierten Bildbewertung nicht von statistischer Bedeutung. Die Aufnahmen mit der keramischen Brücke wurden hinsichtlich des Artefakteinflusses fast durchgehend als gut bis sehr gut bewertet.

Schlussfolgerung: Bei der zahnärztlichen DVT-Röntgendiagnostik ist der Artefakteinfluss durch metallische Versorgungen erheblich höher und in deutlicherem Maße abhängig von der Fragestellung als bei gleichartigen Versorgungen aus Vollkeramik.

Schlüsselwörter: Materialabhängige Artefakte; Digitale Volumentomographie; Metall-Restaurationen; Vollkeramik-Restaurationen

Zitierweise: Zimmermann K-P, Gehrke P, Neugebauer J: Experimentelle Untersuchung zum Einfluss materialabhängiger Bildartefakte auf die Beurteilbarkeit im digitalen Volumentomogramm. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;30:38–52

DOI 10.3238/ZZI.2014.0038–0052

¹ Praxis Prof. Dr. Dhom & Partner, Ludwigshafen, Rheinland-Pfalz, Germany

² Praxis Dr. Bayer, Dres. Kistler, Dr. Elbertzhagen, Landsberg am Lech, Bayern, Germany, und Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie und Klinik und Poliklinik Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Klinikums der Universität zu Köln

Introduction: In this study, the influence of material-related artefacts on the quality of cone-beam CT scans was investigated using a newly developed phantom head.

Material and method: An aluminium oxide bridge and a non-precious alloy bridge were made to restore a gap from teeth 22 to 26 in a maxillary model on the phantom. 6 cone-beam CT images of the bridges that differed in contrast and exposure setting were made. 8 screenshots were obtained for assessment from these 12 data sets. The effect on the quality of these 96 screenshots produced by artefacts was assessed by 5 dentists and by 5 oral surgeons.

Results: Analysis of the results showed that a ceramic restoration has much less effect on artefacts produced in the cone-beam CT than a metal-based restoration. The influence of contrast and exposure settings on the assessment of the different regions of interest (ROI) was not statistically significant in the cumulated image analysis. The scans with the ceramic bridge were nearly all assessed as good to very good with regard to artefacts.

Conclusion: Dental cone-beam CT diagnostic imaging is influenced significantly more by artefacts due to metallic restorations than by those produced by similar all-ceramic restorations.

Keywords: Material-related artefacts; cone-beam CT; metal restorations; all-ceramic restorations

Citation:

Zimmermann K-P, Gehrke P, Neugebauer J: Experimental study on the influence of material-related artefacts on cone-beam CT assessment. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;30:38–52
DOI 10.3238/ZZI.2014.0038–0052

¹ Practice of Prof. Dr. Dhom & Partner, Ludwigshafen, Rheinland-Pfalz, Germany

² Practice of Dr. Bayer, Dres. Kistler, Dr. Elbertzhagen, Landsberg am Lech, Bayern, Germany and Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie und Klinik und Poliklinik Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Klinikums der Universität zu Köln, Germany
Übersetzung:LinguaDent

Einleitung

Physikalische, patientenunabhängige Artefakte spielen in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik eine wichtige Rolle bei der Möglichkeit der Befundung und Auswertung von Röntgenaufnahmen. In der Regel handelt es sich hierbei um störende, materialabhängige Bildeinflüsse, die als solche erkannt und interpretiert werden müssen. Besonders wichtig ist dies bei dreidimensionalen Aufnahmen innerhalb der Implantatplanung und Therapie, die immer öfter mit der Unterstützung der digitalen Volumentomographie (DVT) durchgeführt werden [13]. Häufig werden solche Artefakte durch metallbasierten Zahnersatz verursacht [2]. Deren Auswirkungen auf die konventionelle zahnärztliche Röntgendiagnostik sind in der Literatur ausführlich beschrieben [7].

Während beispielsweise Bewegungsartefakte den gesamten Datensatz negativ beeinflussen, weisen Metallartefakte im DVT eher streifenförmige Störverläufe auf, deren metallischer Ursprung im Zentrum liegt. Diese Artefakte sind lokal begrenzt und manifestieren sich überwiegend horizontal entlang des röntgenologischen Strahlengangs im erhobenen Datensatz. Obwohl schon mehrfach versucht wurde, den Einfluss von dentalen Metallrestorationen und physikalischen Effekten auf die Bildqualität mithilfe mathematischer Algorithmen zu verringern [8, 14], gehören Metallartefakte zu den häufigsten radiologischen Störfaktoren in der zahnärztlichen Praxis. Neben dem Einsatz metallbasierter Restaurationen wurde das Indikationsspektrum für vollkeramischen Zahnersatz durch die Einführung von Zirkoniumdioxid-Keramiken deutlich erweitert [6]. Untersuchungen der Röntgendichte von Zirkonkeramiken zeigen z.B. signifikant höhere Dichtewerte als bei anderen Dentalkeramiken [9]. Der mögliche Einfluss keramischer Werkstoffe auf die Beurteilbarkeit im DVT soll Bestandteil der vorliegenden Untersuchung sein.

Für DVT-Aufnahmen gilt, wie bei allen Röntgenaufnahmen, das ALARA-Prinzip (as low as reasonable achievable) [4]. Deshalb sind Untersuchungen der Abbildungsgenauigkeit oder über das Auftreten von Artefakten in Röntgen- bzw. DVT-Aufnahmen von Patienten ausschließlich retrospektiv anhand vorhandener und nach medizinischer Indikationsstellung angefertigter Aufnahmen möglich. Um eine unnötige Strahlenbelastung von Patienten zu vermeiden, wurde für diese Studie in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut caesar in Bonn ein anthropomorphes Phantommodell entwickelt, das eine prospektive Untersuchung mit definierten Testparametern ermöglicht.

Material und Methode

Zunächst wurden 12 DVT-Aufnahmen des gesamten Phantombereichs mit einem Galileos-DVT-Gerät der Firma Sirona (Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland) angefertigt. Die ersten 6 Aufnahmen wurden mit einer CAD/CAM-gefertigten vollkeramischen Brücke aus Aluminiumdioxid von regio 22 bis 26 auf den Pfeilern 23 und 25 erzeugt. Die weiteren 6 Aufnahmen wurden mit einer vestibulär kunststoffverblendeten Brücke aus einer Nichtedelmetalllegierung (NEM), ebenfalls von regio 22 bis 26 auf 23 und 25, angefertigt. Um eine konkrete Aussage über die Beurteilbarkeit der Bildeinflüsse zu ermöglichen, wurden 8 Regionen im Oberkiefer festgelegt, die von unabhängigen zahnärztlichen Untersuchern eingeschätzt werden sollten (regions of interest).

Introduction

Physical artefacts unconnected with the patient play an important part in the reporting and analysis of diagnostic dental radiographs. These are usually due to effects arising from material, which must be recognized and interpreted as such. This is particularly important in three-dimensional imaging for implant planning and therapy, which is performed more and more often with the aid of cone-beam CT (CBCT) [13]. Such artefacts are often caused by metal-based dental prostheses [2]. Their effects on conventional diagnostic dental radiographs have been described in detail in the literature [7].

While movement artefacts, for example, have a negative effect on the entire data set, metal artefacts on cone-beam CT tend to cause streaking, the metallic origin of which is in the center. These artefacts are limited locally and are manifested mainly horizontally along the radiation beam in the acquired data set. Although attempts have been made to diminish the influence of dental metal restorations and physical effects on image quality with the aid of mathematical algorithms [8, 14], metal artefacts are among the most common radiological interference factors in dental practice. Besides the use of metal-based restorations, the introduction of zirconium oxide ceramic has greatly extended the range of indications for all-ceramic restorations [6]. Studies of the radiodensity of zirconium ceramics show e.g. significantly higher densities than with other dental ceramics [9]. The current study examines the possible influence of artefacts caused by all-ceramic materials.

As with all radiographs, the ALARA principle (as low as reasonably achievable) also applies for cone-beam CT scans [4]. Therefore, studies of the imaging accuracy or presence of artefacts in radiographs and cone-beam CT scans of patients are only possible retrospectively using existing and medically indicated images. To avoid an unnecessary radiation burden on patients, an anthropomorphic phantom model was developed for this study in collaboration with the caesar research institute in Bonn, Germany; this allows a prospective study with defined test parameters.

Materials and method

12 cone-beam CT scans of the entire phantom maxilla were first made with a Galileo cone-beam CT device from Sirona (Sirona GmbH, Bensheim, Germany). The first 6 scans were taken with a CAD/CAM-fabricated aluminium oxide bridge on region 22 to 26 with abutments on 23 and 25. The other 6 scans were taken with a non-precious alloy with acrylic veneer on the vestibular aspect, likewise from region 22 to 26 on 23 and 25. To enable a definite conclusion regarding the image assessment, 8 regions of interest were specified in the maxilla, which were to be assessed by independent dental investigators. These 8 regions were imaged beforehand in the Galileo system's viewer and optimized as regards cross-section, contrast, bright-

**Abbildung 1a**Phantom ohne
Kiefermodelle**Figure 1a**Phantom without
jaw models**Abbildung 1b**Phantom mit
Kiefermodellen**Figure 1b**Phantom with
jaw models

Diese 8 Regionen wurden im Vorfeld für jede Aufnahme optimal in Schnittbild, Kontrast, Helligkeit und Größe für die spätere Präsentation im Betrachtungsprogramm des Galileos-Systems dargestellt und als Screenshot festgehalten. Diese so entstandenen 96 Screenshots wurden in zufälliger Reihenfolge in eine PowerPoint-Präsentation eingefügt. Den Untersuchern wurde vor der Befragung anhand dieser Präsentation eine Bewertungsskala mit den Stufen 1 (kein Artefakteinfluss) bis 5 (erheblicher Artefakteinfluss auf die region of interest) ausgehändigt und mit ihnen im Sinne einer Kalibrierung erläutert und besprochen. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass für die Bewertung der gezeigten Bilder ausschließlich der Einfluss von Bildartefakten ausschlaggebend ist. Subjektive Einschätzungen hinsichtlich der Eignung von DVT-Aufnahmen für die Klärung einzelner diagnostischer Fragen wurden ausdrücklich als nicht bewertungsrelevant eingestuft. Die Beurteilungen wurden auf einem ebenfalls ausgehändigten Bewertungsbogen neben der aufgeführten Foliennummer durch Ankreuzen markiert.

Das verwendete Phantom bestand aus einem Schädel, der im Rapid Prototyping Verfahren aus einer Gips-Bariumsulfat-Mischung hergestellt wurde, und einem Weichgewebsanteil aus Silikon (Abb. 1a, 1b).

Die Kiefermodelle aus Kaltpolymerisat und Bariumsulfat wurden mittels Klemmpassung fixiert. Die verwendeten Zähne waren bis auf Zahn 27 ohne Hartgewebsdefekt. Zahn 27 war bereits mit einer VMK-Krone unbekanntem Ursprungs versorgt. Die Zähne 22, 24 und 26 fehlten. Die Zähne 23 und 25 wurden in Form einer Schulterpräparation zur Aufnahme einer Brücke vorbereitet. Im Bereich der Extraktionsalveole 024 stellte sich ein V-förmiger knöcherner Defekt dar, der einer Verletzung der vestibulären Wand im Zuge der Zahnentfernung nachempfunden wurde. Die Wurzelspitze des Zahns 12 lag im Sinne einer apikalen, knöchernen Dehiszenz frei. Der Zahn 23 wies zervikal der Präparationsgrenze einen natürlich entstandenen keilförmigen, kariösen Defekt auf. Die Alveolen der Zähne 22, 24 und 26 waren leer. Die vollkeramische Brücke von 22 bis 26 wurde mit dem CAD/CAM-System Cerec (Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland) hergestellt (Abb. 2a). Die NEM-Brücke

ness and size for the subsequent presentation; they were then saved as screenshots. The resulting 96 screenshots were collected in a PowerPoint presentation in random order. Before the survey, the investigators were given an assessment scale based on this presentation ranging from a score of 1 (no artefact) to 5 (major artefact affecting the region of interest) and the calibration of this was explained and discussed with them. It was pointed out that only the effect of artefacts in the images was to be assessed. Subjective estimates regarding the suitability of cone-beam CT scans to elucidate individual diagnostic questions were classified expressly as not relevant to the assessment. The assessments were marked by checking an assessment form beside the listed image number.

The phantom consisted of a skull made of a mixture of plaster and barium sulfate produced with the rapid prototyping method with soft tissues made of silicone (Fig. 1a, 1b).

The jaw models were made of cold-cured polymer and barium sulfate and wedged into place. Apart from tooth 27, the teeth employed had no hard tissue defect. Tooth 27 had already been restored with a ceramometal crown of unknown origin. Teeth 22, 24 and 26 were missing. The shoulders of teeth 23 and 25 were prepared to accept a bridge. A V-shaped bony defect is seen at extraction socket 024, which imitates an injury of the vestibular wall during tooth removal. The apex of tooth 12 was free in the form of an apical bony dehiscence. Tooth 23 had a wedge-shaped carious defect cervical to the preparation margin that occurred naturally. The sockets of teeth 22, 24 and 26 were empty. The all-ceramic bridge from 22 to 26 was fabricated with the Cerec CAD/CAM system (Sirona GmbH, Bensheim, Germany) (Fig. 2a). The non-precious alloy bridge was fabricated using the classic lost wax method and then veneered with acrylic on the vestibular surface (Fig. 2b).

The regions of interest were explained to the investigators using Table 1.

The scans were taken with exposure of 14, 28 and 42 mAs at normal contrast and high contrast settings. They were analyzed by 5 dentists who work mainly in prosthetic dentistry and by 5 oral surgeons working in the area of implant dentis-



Abbildung 2a OK-Modell mit Keramikbrücke
Figure 2a Maxillary model with all ceramic bridge



Abbildung 2b OK-Modell mit NEM-Brücke
Figure 2b Maxillary model with non-precious alloy bridge

wurde im klassischen Lost-Wax-Verfahren hergestellt und anschließend vestibulär mit Kunststoff verblendet (Abb. 2b).

Die regions of interest wurden den Untersuchern anhand der Tabelle 1 erläutert.

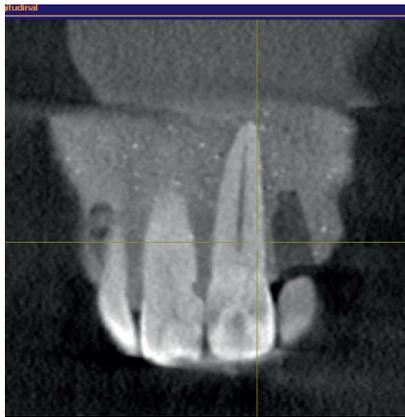
Die Aufnahmen wurden mit einer Belichtung von 14, 28 und 42 mAs jeweils in der Normalkontrast- und Hochkontrasteinstellung angefertigt. Ausgewertet wurden sie von 5 überwiegend prothetisch tätigen Zahnärzten sowie von 5 implantolo-

gy. At the time of the study, all 10 dentists had a number of years of experience dealing with and analyzing cone-beam CT scans.

Region	Fragestellung
Region	Question
	Beurteilbarkeit (in Bezug auf den materialabhängigen Artefakteinfluss)...
	<i>Assessment (with regard to material-related artefact)...</i>
23	... des Hartschubstanzdefekts im Kronenrandbereich 23 im Sinne eines kariösen Putzdefekts.
23	<i>... of the hard substance defect in the crown margin of region 23 in the form of a carious brushing furrow.</i>
24	... der Beschaffenheit der vestibulären Knochenwand in regio 024 (ossärer Defekt).
24	<i>... of the structure of the vestibular bone wall in region 024 (bone defect).</i>
26	... der Darstellungsgenauigkeit der crestalen Knochengrenze in regio 026 am Eingang der Extraktionsalveole in der oro-vestibulären Dimension.
26	<i>... of the imaging accuracy of the crestal bone margin in region 026 at the inlet of the extraction socket in the oro-vestibular dimension.</i>
22	... der Darstellungsgenauigkeit der crestalen Knochengrenze in regio 022 am Eingang der Extraktionsalveole in der oro-vestibulären Dimension.
22	<i>... of the imaging accuracy of the crestal bone margin in region 022 at the inlet of the extraction socket in the oro-vestibular dimension.</i>
21	... des Gesundheitszustands (in Schmelz und Dentin) des distalen Approximalkontakts an Zahn 21.
21	<i>... of the health (enamel and dentin) of the distal approximal contact at tooth 21.</i>
12	... der vestibulären Dehiszenz an Zahn 12 (apikal).
12	<i>... of vestibular dehiscence at tooth 12 (apical).</i>
11	... des Gesundheitszustands (in Schmelz und Dentin) des distalen Approximalkontakts an Zahn 11.
11	<i>... of the health (enamel and dentin) of the distal approximal contact at tooth 11.</i>
ZE	... der Umrissgenauigkeit der prothetischen Versorgung 22–26 in der axialen Darstellung.
ZE	<i>... of the accuracy of the contour of the prosthetic restoration 22–26 in the axial view.</i>

Tabelle 1 Fragestellungen zur Beurteilbarkeit des materialabhängigen Artefakteinflusses

Table 1 Questions on the assessment of material-related artefacts

**Abbildung 3a**

Keramik: sehr gute Erkennbarkeit

Figure 3a

Ceramic: very readily identifiable

**Abbildung 3b**

NEM: deutliche Auslöschungsartefakte

Figure 3b

Non-precious alloy: obvious extinction artefacts

gisch tätigen Fachzahnärzten für Oralchirurgie. Alle 10 Zahnärzte verfügten zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits über mehrjährige Erfahrung im Umgang und in der Auswertung von digitalen Volumentomographien.

Ergebnisse

Die 8 ROI wurden für 12 Aufnahmen von 10 (Fach-)Zahnärzten bewertet. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von $8 \times 12 \times 10 = 960$ Einzelbewertungen. Diese Einzelbewertungen wurden nach Aufnahmeparametern zusammengefasst und miteinander verglichen.

Bei der kumulierten Beurteilung aller Befunde ergibt sich, dass bei allen Aufnahmen mit der Keramikbrücke der Median bei 2 liegt. Das entspricht einem geringen Artefakteinfluss mit guter Erkenn- und Beurteilbarkeit der zu untersuchenden Strukturen. Die Beurteilungen der Aufnahmen mit der Metallbrücke zeigen einen deutlich höheren Artefakteinfluss: Während bei den Aufnahmen mit einer Belichtung von 14 mAs sowie bei der Aufnahme mit 42 mAs und dem Hochkontrastprogramm der Median 3 ist (Artefakteinfluss, untersuchte Struktur nicht eindeutig erkenn- bzw. beurteilbar), liegt die Bewertung der Aufnahmen mit einer Belichtung von 28 mAs und der Aufnahme mit 42 mAs und Standardkontrast bei einem Medianwert von 4 (deutlicher Artefakteinfluss, untersuchte Struktur teilweise erkenn-, aber nicht mehr beurteilbar).

ROI: Approximal ZE

Bei der Fragestellung zur Beurteilung des approximalen Zahnersatzes (*Approximal ZE*) wurde der Artefakteinfluss durch den eingliederten Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit des distalen Approximalkontakts des Zahns 21 in unmittelbarer Nachbarschaft zu dem Schwebeglied 22 untersucht. Bei den Aufnahmen mit keramischem Zahnersatz zeigte sich eine einheitliche Bewertung mit einem Median von 2. Bei den Aufnahmen mit NEM-Brücke lag der Median einmal bei 4 und viermal bei 5 (erheblicher Artefakteinfluss, untersuchte Struktur absolut nicht erkenn- und beurteilbar). Die Ergebnisse in den jeweiligen Zahnersatzgruppen (Keramik bzw. NEM) zeigen innerhalb der veränderten Aufnahmeparameter keine signifikanten Abweichungen. Der Vergleich der Bewertungen nach ZE-Material zeigt für alle Aufnahmeparameter eine signifikante Abweichung zugunsten der keramischen Versorgung (Abb. 3a, 3b).

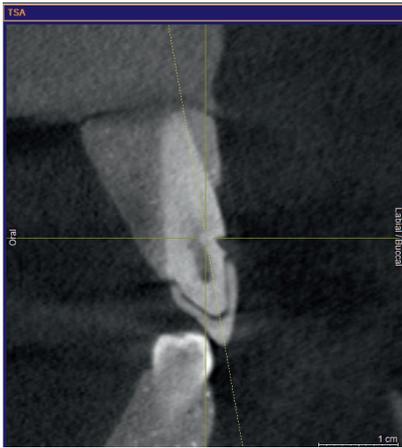
Results

12 scans of each of the 8 ROIs were assessed by 10 (specialist) dentists. This gives a total of $8 \times 12 \times 10 = 960$ individual assessments. These individual assessments were summarized according to scan parameters and compared.

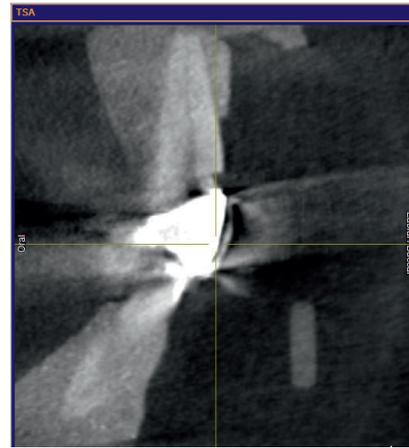
Cumulated assessment of all results shows that the median is 2 in all scans with the ceramic bridge. This is equivalent to a low artefact rate with good identification and assessment of the imaged structures. The effect of artefacts is clearly higher in the assessment of scans with the metal bridge: while the median is 3 in scans with an exposure of 14 mAs and in the scan at 42 mAs with the high contrast setting (artefact effect, imaged structure not clearly identifiable or assessable), evaluation of the scans with an exposure of 28 mAs and of the scan with exposure of 42 mAs and standard contrast yielded a median of 4 (clear artefact effect, imaged structure partially identifiable but not assessable).

ROI: Approximal prosthesis

The effect of the artefact due to the *approximal prosthesis* on the assessment of the distal approximal contact of tooth 21 in the immediate vicinity of the pontic on 22 was investigated. Assessment of the scans with the ceramic prosthesis was uniform with a median of 2. In the scans with the non-precious alloy bridge, the median was 4 in one case and 5 in four cases (significant artefact, examined structure could not be identified and assessed at all). The results in the respective groups (ceramic and non-precious alloy bridge) show no significant differences within the altered scan parameters. Comparison of the assessments according to bridge material shows a significant difference in favor of the ceramic restoration for all scan parameters (Fig. 3a, 3b).

**Abbildung 4a**Keramik: kein
Artefakteinfluss**Figure 4a**

Ceramic: no artefact

**Abbildung 4b**NEM: deutlicher
Artefakteinfluss**Figure 4b**Non-precious alloy:
obvious artefact**ROI: Putzdefekt**

Bei der ROI *Putzdefekt* wurde der Artefakteinfluss durch den eingegliederten Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit des cervikalen keilförmigen Defekts im Sinne eines kariösen Putzdefekts an Zahn 23 untersucht. Bei den Aufnahmen mit keramischem Zahnersatz zeigte sich, mit Ausnahme der Aufnahme mit einer Belichtung von 42 mAs und der Standardkontrasteinstellung (Median = 2), eine einheitliche Bewertung mit einem Median von 1 (kein Artefakteinfluss, untersuchte Struktur problemlos erkenn- und beurteilbar). Die Bewertungen der Aufnahmen mit der NEM-Brücke zeigen überwiegend einen deutlichen Artefakteinfluss (Median = 4), lediglich die Aufnahmen mit 28 mAs im Standardkontrastmodus (Median = 3) und 42 mAs mit Hochkontrasteinstellung (Median = 2) wurden besser bewertet. Die Aufnahmen mit der Keramikbrücke weichen untereinander für die verschiedenen Aufnahmeparameter nicht signifikant voneinander ab. Darüber hinaus konnte keine statistisch relevante Abweichung zwischen der Aufnahme mit Keramik-ZE und einer Belichtung von 42 mAs im Standardmodus und den Aufnahmen mit Metallbrücke bei 14 mAs im Hochkontrast- bzw. 28 mAs im Standardmodus festgestellt werden. Die Bewertungen der Aufnahmen mit NEM-Brücke zeigen untereinander bis auf eine Ausnahme ebenfalls keine statistisch signifikanten Abweichungen. Lediglich die Aufnahme mit NEM-Brücke und einer Belichtung von 42 mAs im Hochkontrastprogramm weicht ausschließlich von den Bewertungen der Aufnahmen mit NEM-ZE und einer Belichtung von 42 mAs bzw. 14 mAs im Standardmodus signifikant ab ($p = 0,014$ bzw. $p = 0,002$). Die Bewertungen der Aufnahmen mit Keramikbrücke zeigen für alle Aufnahmeparameter eine signifikante Abweichung von den Bewertungen der Aufnahmen mit NEM-Brücke, ausgenommen die oben beschriebene Aufnahme (NEM, 42 mAs, Hochkontrast). Im klinischen Alltag kann daher davon ausgegangen werden, dass Hartsubstanzdefekte im Randbereich keramischer Versorgungen sicher, im Randbereich metallbasierter Versorgungen nur eingeschränkt bis schlecht im DVT beurteilt werden können (Abb. 4a, 4b).

ROI: Extraktionsalveole

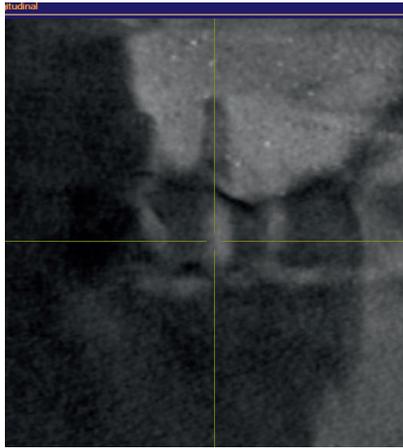
Die Fragestellung *Extraktionsalveole* untersuchte den Artefakteinfluss auf die Beurteilbarkeit des V-förmigen Defekts der bukkalen Knochenwand der Extraktionsalveole 024. Bei allen Auf-

ROI: Brushing furrow

In the *brushing furrow* ROI the effect of the artefact due to the prosthesis on the assessment of the wedge-shaped cervical defect acting as a carious brushing furrow in tooth 23 was studied. With the exception of the scan with exposure of 42 mAs and standard contrast setting (median = 2), assessment of the scans with the ceramic bridge was uniform with a median of 1 (no artefact, examined structure readily identifiable and assessable). The assessments of the scans with the non-precious alloy bridge show obvious artefact effect in most cases (median = 4), and only the scans with exposure of 28 mAs in standard contrast mode (median = 3) and 42 mAs with high contrast (median = 2) received a better score. The parameters of the scans with the ceramic bridge do not differ significantly. Moreover, there was no significant difference between the scan with the ceramic bridge and exposure of 42 mAs in standard mode and the scans with the metal bridge at 14 mAs and high contrast or 28 mAs in standard mode. With one exception, assessments of the scans with the non-precious alloy bridge also show no significant differences. Only the scan with the non-precious alloy bridge and exposure of 42 mAs in the high contrast setting differs significantly from the assessments of the scans with the non-precious alloy prosthesis and exposure of 42 mAs and 14 mAs in standard mode ($p = 0.014$ and $p = 0.002$ respectively). The assessments of the scans with the ceramic bridge show a significant difference from the assessments of the scans with the non-precious alloy bridge, with the exception of the scan described above (non-precious alloy, 42 mAs, high contrast). In routine clinical practice, it can therefore be assumed that hard substance defects at the margin of ceramic restorations can be assessed securely on cone-beam CT whereas assessment of those at the margin of metal-based restorations is limited or poor (Fig. 4a, 4b).

ROI: Extraction socket

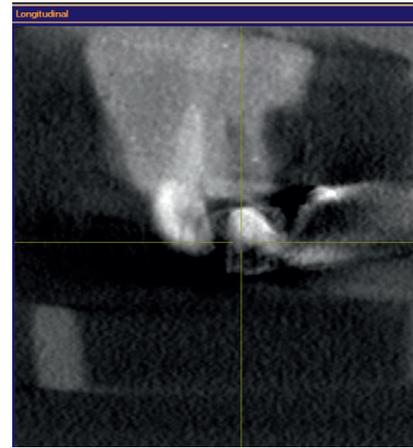
The *extraction socket* ROI investigated the effect of artefact on the assessment of the V-shaped defect in the buccal bone wall of the 024 extraction socket. Regardless of the type of prosthe-

**Abbildung 5a**

Keramik: schlecht beurteilbar

Figure 5a

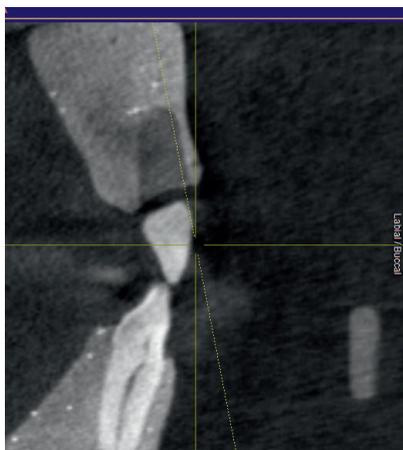
Ceramic: difficult to assess

**Abbildung 5b**

NEM: schlecht beurteilbar

Figure 5b

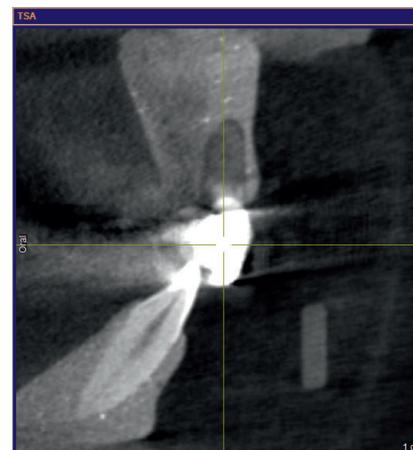
Non-precious alloy: difficult to assess

**Abbildung 6a**

Keramik: sehr gute Erkennbarkeit

Figure 6a

Ceramic: very readily identifiable

**Abbildung 6b**

NEM: deutlicher Artefakteinfluss

Figure 6b

Non-precious alloy: obvious artefact

nahmen zeigte sich, unabhängig vom eingegliederten Zahnersatz, eine deutliche Einschränkung der Beurteilbarkeit der ROI. Unabhängig von ZE-Material und Aufnahmeparametern (Ausnahme: NEM-Brücke mit 42 mAs und Hochkontrasteinstellung, Median = 3) wurde die Beurteilbarkeit als unzureichend (Median = 4) bewertet. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Bewertungen einzelner Aufnahmen konnte nicht festgestellt werden (Abb. 5a, 5b).

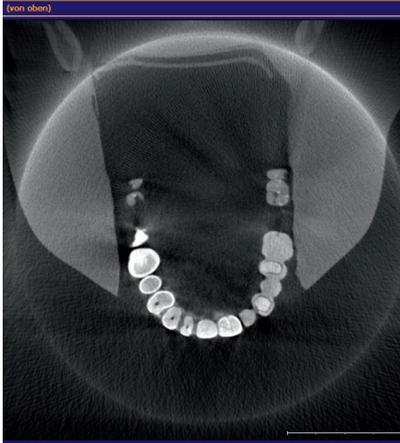
ROI: Kieferkamm im Frontzahnbereich

Bei der Fragestellung zur Beurteilung des Kieferkamms im Frontzahnbereich (*Kieferkamm FZ*) wurde der Artefakteinfluss durch den eingegliederten Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit der Knochenstruktur am krestalen Alveoleneingang in regio 022 untersucht. Bei den Aufnahmen mit keramischem Zahnersatz zeigte sich eine einheitlich sehr gute Bewertung mit einem Median von 1. Bei den Aufnahmen mit der NEM-Brücke wurden erkennbare (Median = 3) bis deutliche (Median = 4) Artefakteinflüsse festgestellt. Die Ergebnisse innerhalb einer Zahnersatzgruppe (Keramik bzw. NEM) zeigen für die veränderten Aufnahmeparameter keine statistisch signifikanten Abweichungen. Der Vergleich der Bewertungen nach ZE-Material zeigt für alle Aufnahmeparameter eine signifikante Abweichung ($p = 0,000$ bis $p = 0,007$). Es ist daher davon auszugehen, dass metallbasierte Schwebeglieder die Diagnostik des krestalen Knochens im Gegensatz zu vollkeramischen deutlich negativ beeinflussen (Abb. 6a, 6b).

sis, a marked impairment of the assessment of the ROI was seen with all scans. The assessment was scored as inadequate (median = 4) regardless of prosthetic material and scan parameters (exception: non-precious alloy bridge with 42 mAs and high contrast setting, median = 3). A statistically significant difference between the assessments of individual scans was not found (Fig. 5a, 5b).

ROI: Anterior alveolar ridge

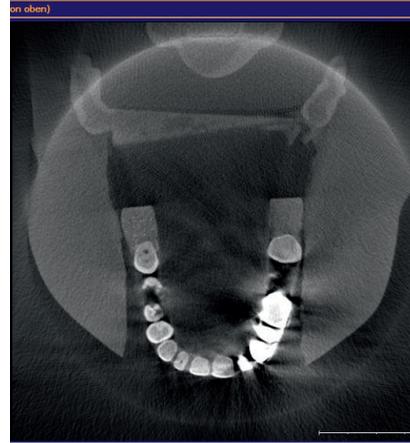
The *anterior alveolar ridge* ROI studied the effect of artefact due to the prosthesis on the assessment of the bone structure at the crestal socket inlet in region 022. Assessment of the scans with the ceramic bridge was uniformly very good with a median of 1. Identifiable (median = 3) to obvious (median = 4) artefact effects were apparent in the scans with the non-precious alloy bridge. The results within one prosthesis group (ceramic or non-precious alloy) do not show statistically significant differences for the altered scan parameters. Comparison of the assessments according to bridge material shows a significant difference for all scan parameters ($p = 0,000$ to $p = 0,007$). It can therefore be assumed that metal-based suspended elements have a marked negative influence on crestal bone diagnosis compared with all-ceramic prostheses (Fig. 6a, 6b).

**Abbildung 7a**

Keramik: sehr gute Erkennbarkeit

Figure 7a

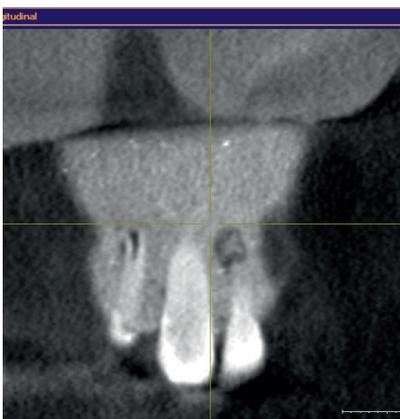
Ceramic: very readily identifiable

**Abbildung 7b**

NEM: deutlicher Artefakteinfluss

Figure 7b

Non-precious alloy: obvious artefact

**Abbildung 8a**

Keramik: (sehr) gute Erkennbarkeit

Figure 8a

Ceramic: (very) readily recognizable

**Abbildung 8b**

NEM: erkennbare Artefaktbildung

Figure 8b

Non-precious alloy: identifiable artefact

ROI: Axialansicht OK

Bei der Fragestellung *Axialansicht OK* wurde die Erkennbarkeit der ZE-Umriss in der Axialansicht untersucht. Die Bewertung der Aufnahmen mit Keramik-Brücke zeigte eine durchgehend sehr gute Erkennbarkeit (Median = 1). Bei den Aufnahmen mit der NEM-Brücke war der Artefakteinfluss deutlich bis erheblich, bei einem Median von 4 bzw. 5. Die Ergebnisse innerhalb einer Zahnersatzgruppe (Keramik bzw. NEM) zeigen für die veränderten Aufnahmeparameter keine statistisch signifikanten Abweichungen. Der Vergleich der Bewertungen nach ZE-Material zeigt für alle Aufnahmeparameter eine signifikante Abweichung ($p = 0,000$). Dies belegt die horizontale Zeichenschärfe keramischer Prothetik im dentalen DVT (Abb. 7a, 7b).

ROI: Apikale Dehiszenz

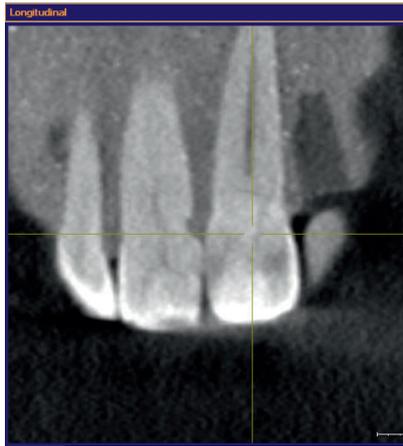
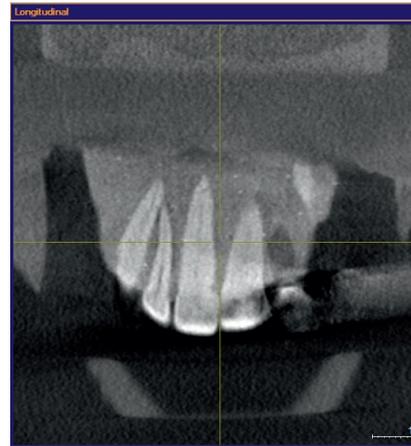
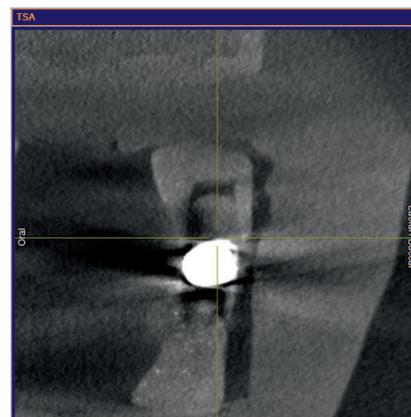
Die Fragestellung *apikale Dehiszenz* untersuchte den Artefakteinfluss durch den eingegliederten Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit der apikalen Knochendehiszenz im zur prothetischen Versorgung kontralateralen Quadranten an Zahn 12. Die Aufnahmen mit keramischem Zahnersatz zeigten eine gute (Median = 2) bis sehr gute Bewertung (Median = 1). Die Bewertungen der Aufnahmen mit der NEM-Brücke zeigten einen Median von 2 bzw. 3. Eine statistisch signifikante Abweichung zwischen den einzelnen Bewertungsergebnissen konnte nicht festgestellt werden (Abb. 8a, 8b).

ROI: Axial view of maxilla

In the *axial view of the maxilla*, the identification of the bridge contours on axial view was studied. Assessment of scans with the ceramic bridge showed very good identification throughout (median = 1). In the scans with the non-precious alloy bridge, the artefact effect was obvious to major, with a median of 4 and 5 respectively. The results within one prosthesis group (ceramic or non-precious alloy) do not show statistically significant differences for the altered scan parameters. Comparison of the assessments according to bridge material shows a significant difference for all scan parameters ($p = 0,000$). This confirms the horizontal detail of ceramic prostheses in dental cone-beam CT (Fig. 7a, 7b).

ROI: Apical dehiscence

The *apical dehiscence* ROI studied the effect of artefact due to the prosthesis on the assessment of the apical bone dehiscence in the quadrant contralateral to the bridge on tooth 12. The scans with the ceramic bridge showed a good (median = 2) to very good assessment (median = 1). The median assessments of scans with the non-precious alloy bridge were 2 and 3 respectively. A statistically significant difference between the individual assessment results was not found (Fig. 8a, 8b).

**Abbildung 9a**Keramik: gute
Erkennbarkeit**Figure 9a**Ceramic: readily
identifiable**Abbildung 9b**NEM: gute
Erkennbarkeit**Figure 9b**Non-precious alloy:
readily identifiable**Abbildung 10a**Keramik: gute
Erkennbarkeit**Figure 10a**Ceramic: readily
identifiable**Abbildung 10b**NEM: deutlicher
Artefakteinfluss**Figure 10b**Non-precious alloy:
obvious artefactAbbildungen: Kai-Peter
Zimmermann

ROI: Approximale Zahngesundheit

Bei der Fragestellung zur Beurteilung der approximalen Zahngesundheit (*Approximal Zahn*) wurde der Artefakteinfluss auf die Beurteilbarkeit des distalen Approximalkontakts des Zahns 11 ohne unmittelbare Nachbarschaft zu dem eingegliederten Zahnersatz untersucht. Bei allen Aufnahmen zeigte sich eine einheitlich gute Bewertung mit einem Median von 2. Die Bewertungen zeigten keine statistisch signifikanten Abweichungen (Abb. 9a, 9b).

ROI: Kieferkamm Seitenzahnbereich

Bei der Fragestellung zur Beurteilung des Kieferkamms im Seitenzahnbereich (*Kieferkamm SZ*) wurde der Artefakteinfluss durch den eingegliederten Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit der Knochenstruktur am krestalen Alveoleneingang in regio 026 untersucht. Bei den Aufnahmen mit vollkeramischem Zahnersatz zeigte sich eine einheitlich gute Bewertung mit einem Median von 2. Bei den Aufnahmen mit der NEM-Brücke wurden deutliche (Median = 4) Artefakteinflüsse festgestellt. Lediglich die Aufnahme mit NEM-Brücke und 14 mAs im Hochkontrastmodus wurde etwas besser bewertet (Median = 3). Statistisch signifikante Abweichungen der Bewertungen fanden sich lediglich zwischen den Aufnahmen „NEM 28 mAs HC“ und „Keramik 14 mAs HC“ ($p = 0,001$), „Keramik 28 mAs HC“ ($p = 0,003$), „Keramik 42 mAs HC“ ($p = 0,034$) und „Keramik 42 mAs Std“ ($p = 0,034$). Außerdem wichen die Bewertungen der Aufnahme „NEM 14 mAs Std“ signifikant von

ROI: Approximal tooth

In assessing the *approximal tooth*, the effect of artefact on the assessment of the distal approximal contact of tooth 11 not immediately adjacent to the prosthesis was studied. The assessment of all scans was uniformly good with a median of 2. There were no statistically significant differences in the assessments (Fig. 9a, 9b).

ROI: Posterior alveolar ridge

In the *posterior alveolar ridge* ROI, the effect of artefact due to the prosthesis on the assessment of the bone structure at the crestal socket inlet in region 026 was studied. Assessment of the scans with the ceramic bridge was uniformly good with a median of 2. Obvious (median = 4) artefact effects were found in the scans with the non-precious alloy bridge. Only the scan with the non-precious alloy bridge and 14 mAs in high contrast mode received a somewhat better assessment (median = 3). Statistically significant differences in the assessments were found only between the “non-precious alloy 28 mAs HC” and “Ceramic 14 mAs HC” ($p = 0.001$), “Ceramic 28 mAs HC” ($p = 0.003$), “Ceramic 42 mAs HC” ($p = 0.034$) and “Ceramic 42 mAs Std” ($p = 0.034$) scans. In addition, the assessments of the “non-precious alloy 14 mAs Std” scan differed significantly from those of the “Ceramic 14 mAs HC” scan ($p = 0.034$). This results in the demand for optimal setting of the cone-beam CT

ORALCHIRURGEN / ORAL SURGEONS	Unter. / Exam.	1	2	3	4	5	Mittel / Mean	Unter. / Exam.	1	2	3	4	5	Mittel / Mean
Mat. und Belicht. / Material and exposure	ROI							ROI						
K14H	11	4	3	3	3	2	3	24	4	5	2	5	3	3,8/3.8
K14N	11	4	2	4	3	2	3	24	5	5	4	5	4	4,6/4.6
K28H	11	4	2	2	3	1	2,4/2.4	24	5	5	4	5	3	4,4/4.4
K28N	11	4	3	4	3	2	3,2/3.2	24	5	5	4	5	3	4,4/4.4
K42H	11	4	1	2	2	1	2	24	4	4	2	5	2	3,4/3.4
K42N	11	5	3	4	3	1	3,2/3.2	24	4	4	4	5	2	3,8/3.8
N14H	11	4	3	4	2	1	2,8/2.8	24	5	5	2	5	3	4
N14N	11	2	1	3	2	1	1,8/1.8	24	5	3	4	5	3	4
N28H	11	3	2	3	2	2	2,4/2.4	24	5	5	4	4	3	4,2/4.2
N28N	11	4	2	4	3	2	3	24	5	5	4	4	3	4,2/4.2
N42H	11	4	2	4	2	2	2,8/2.8	24	3	4	2	4	2	3
N42N	11	4	2	4	3	2	3	24	5	4	3	5	3	4
K14H	12	2	1	2	3	2	2	26	1	3	2	3	2	2,2/2.2
K14N	12	3	2	2	2	1	2	26	2	3	2	3	2	2,4/2.4
K28H	12	3	1	2	2	2	2	26	2	4	1	2	2	2,2/2.2
K28N	12	2	2	4	4	2	2,8/2.8	26	1	2	2	3	2	2
K42H	12	4	3	2	3	1	2,6/2.6	26	2	4	1	2	1	2
K42N	12	3	3	2	4	1	2,6/2.6	26	2	3	1	3	2	2,2/2.2
N14H	12	4	3	2	3	3	3	26	4	4	3	3	3	3,4/3.4
N14N	12	3	3	2	3	2	2,6/2.6	26	4	5	2	3	4	3,6/3.6
N28H	12	3	3	3	3	3	3	26	4	5	2	4	4	3,8/3.8
N28N	12	3	2	4	4	4	3,4/3.4	26	2	5	2	3	4	3,2/3.2
N42H	12	3	3	3	3	3	3	26	2	5	2	3	4	3,2/3.2
N42N	12	4	3	3	4	2	3,2/3.2	26	5	4	2	4	2	3,4/3.4
K14H	21	4	2	4	3	2	3	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	1	1,4/1.4
K14N	21	3	2	3	2	2	2,4/2.4	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	1	1,4/1.4
K28H	21	4	2	4	4	2	3,2/3.2	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	2	1,6/1.6
K28N	21	4	2	4	4	1	3	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	1	1,4/1.4
K42H	21	4	2	4	3	2	3	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	1	1,4/1.4
K42N	21	5	2	4	2	2	3	<i>ZE/bridge</i>	2	2	1	1	1	1,4/1.4
N14H	21	5	3	4	5	4	4,2/4.2	<i>ZE/bridge</i>	5	5	4	3	4	4,2/4.2
N14N	21	5	4	4	5	4	4,4/4.4	<i>ZE/bridge</i>	5	5	5	4	4	4,6/4.6
N28H	21	5	4	4	5	4	4,4/4.4	<i>ZE/bridge</i>	5	5	4	4	4	4,4/4.4
N28N	21	4	3	3	4	4	3,6/3.6	<i>ZE/bridge</i>	5	5	5	4	5	4,8/4.8
N42H	21	5	4	5	5	4	4,6/4.6	<i>ZE/bridge</i>	5	5	4	3	4	4,2/4.2
N42N	21	5	4	4	5	4	4,4/4.4	<i>ZE/bridge</i>	5	5	5	4	4	4,6/4.6
K14H	22	1	1	1	2	1	1,2/1.2	23	2	2	2	1	1	1,6/1.6
K14N	22	2	1	1	2	1	1,4/1.4	23	2	2	1	2	1	1,6/1.6
K28H	22	1	1	1	1	2	1,2/1.2	23	2	2	1	1	2	1,6/1.6
K28N	22	1	1	1	1	1	1	23	2	2	1	2	1	1,6/1.6
K42H	22	1	1	1	3	1	1,4/1.4	23	1	1	1	1	1	1
K42N	22	2	1	1	2	1	1,4/1.4	23	2	2	1	2	2	1,8/1.8
N14H	22	3	4	1	3	2	2,6/2.6	23	4	3	2	4	3	3,2/3.2
N14N	22	4	4	2	3	2	3	23	5	3	3	3	4	3,6/3.6
N28H	22	3	3	2	3	2	2,6/2.6	23	4	4	2	4	3	3,4/3.4
N28N	22	4	4	2	4	2	3,2/3.2	23	5	3	2	3	4	3,4/3.4
N42H	22	5	4	2	4	3	3,6/3.6	23	2	3	1	3	2	2,2/2.2
N42N	22	3	4	2	3	2	2,8/2.8	23	5	3	4	4	3	3,8/3.8

Tabelle 2 Bewertung der implantologisch tätigen Fachzahnärzte für Oralchirurgie

Table 2 Evaluation by oral surgeons specializing in implant dentistry

denen der Aufnahme „Keramik 14 mAs HC“ (p = 0,034) ab. Daraus ergibt sich der hohe Anspruch an die optimale Einstellung des DVT-Geräts entsprechend den gewünschten Bildeigenschaften in dieser ROI (Abb. 10a, 10b).

machine depending on the desired image characteristics in this ROI (Fig. 10a, 10b).

Table 2 gives a complete overview of the assessments of the oral surgeons working in implant dentistry and the assess-

Eine vollständige Übersicht der Bewertungen der implantologisch tätigen Fachzahnärzte für Oralchirurgie ist in der Tabelle 2 und die der überwiegend prothetisch tätigen Zahnärzte in der Tabelle 3 dargestellt.

Diskussion

In dieser Arbeit wurde der Artefakteinfluss auf die Erkenn- und Beurteilbarkeit vorher festgelegter Regionen in DVT-Aufnahmen bewertet. Dies erfolgte anhand von Screenshots. Die DVT-Aufnahmen wurden im Vorfeld ausgewertet und die fraglichen Regionen optimal in Kontrast und Helligkeit sowie Schnittebene eingestellt. Anschließend wurde das Betrachtungsfenster entsprechend der Foliengröße einer PowerPoint-Präsentation angepasst und das dargestellte Schnittbild übertragen. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass alle Untersucher die gleichen Voraussetzungen für die Bewertung des Artefakteinflusses vorfanden. Bei einer individuellen Einstellung der ROI durch jeden einzelnen Betrachter hätte es zu Darstellungsunterschieden und somit zu einstellungsbedingt unterschiedlichen Einschätzungen der materialabhängigen Bildeinflüsse kommen können.

Die Folien dieser Präsentation wurden im Rahmen einer geführten Befragung bewertet. Dafür wurden den Untersuchern eine Tabelle mit den Definitionen der Bewertungsstufen, eine Beispielliste der ROI sowie ein Bewertungsbogen ausgehändigt. Die Bewertungsstufen wurden vor Beginn der Präsentation ausführlich erklärt und nach einer Kalibrierungsrunde rekapituliert. Dadurch wurden ein sicherer Umgang mit den Bewertungsstufen sowie eine unmissverständliche Beschreibung der gefragten Region gewährleistet. Irrtümer bezüglich der Bewertungsskala bzw. der ROI konnten somit ausgeschlossen werden.

Die Befragung wurde an einem 22 Zoll großen LCD-Bildschirm bei gleichmäßiger, reproduzierbarer Beleuchtung durchgeführt. Negative Einflüsse durch zu kleine Darstellungen oder die Zimmerbeleuchtung wurden so bestmöglich minimiert.

Die Auswertung der 960 Einzelbewertungen erfolgte zunächst kumuliert nach Aufnahmeparametern. Hierfür wurden die Bewertungen der 10 (Fach-)Zahnärzte für die 8 ROI pro Aufnahmeparameter (ZE-Material, Belichtung, Kontrasteinstellung) zusammengefasst und miteinander verglichen. Dabei zeigte sich erwartungsgemäß eine eindeutig bessere Bewertung der Aufnahmen mit vollkeramischem Zahnersatz. Ein Einfluss der Belichtung oder des Kontrastmodus auf die Bewertung war nicht erkennbar. Im Gegensatz dazu ergaben sich bei den Aufnahmen mit NEM-Brücke Unterschiede zwischen den einzelnen Parametergruppen. So schienen die Bewertungen bei einer Belichtung von 14 bzw. 28 mAs eher unabhängig von der gewählten Kontrasteinstellung zu sein, wobei bei einer Belichtung von 42 mAs das Hochkontrastprogramm einen positiven Einfluss auf die Vermeidung von metallabhängigen Artefakten hatte. Aufgrund der geringen Abweichungen der Beurteilungen kann von einer gleichmäßigen Bewertung der jeweiligen Parametergruppe ausgegangen werden.

Im Anschluss an die kumulierten Beurteilungen wurden die ROI-Bewertungen nach Aufnahmeparametern miteinander verglichen. Die Beurteilungen des distalen Approximalkontakts des Zahns 21 in unmittelbarer Nachbarschaft zum eingegliederten Zahnersatz (ROI *Approximal ZE*) zeigten analog zu den kumulierten Bewertungen einen deutlichen Unterschied hinsichtlich des Artefakteinflusses durch das verwendete Material. Die Aufnah-

ments der Zahnärzte, die hauptsächlich in der Prothetik tätig sind, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Discussion

In this study, the effect of artefacts on the identification and assessment of previously determined regions in cone-beam CT scans was analyzed using screenshots. The cone-beam CT scans were analyzed beforehand and the optimal contrast, brightness and cross-section settings for the regions in question were established. The observation window was then adjusted to the size of a PowerPoint presentation slide and the image was transferred. This ensured that all investigators were provided with the same conditions for assessing the artefact effect. If the settings for the ROIs had been set individually by each observer, imaging differences would have occurred and the assessments of the material-related effects on the image might have differed because of the settings.

The slides in this presentation were analyzed in a guided survey. The investigators were given a table with the definitions of the assessment scores, a list of ROI examples and an assessment form. The assessment scores were explained in detail before the start of the presentation and recapitulated after a calibration round. This ensured that they were confident with the assessment scores and that the description of the region in question was not misunderstood. Errors regarding the assessment scale or ROI were thereby excluded.

The survey was conducted on a 22-inch LCD screen with uniform reproducible illumination. In this way, negative influences due to excessively small images or room lighting were minimized as far as possible.

The 960 individual assessments were first analyzed cumulatively according to scan parameters. To do this, the assessments of the 10 (specialist) dentists for the 8 ROIs were summarized per scan parameter (bridge material, exposure, contrast setting) and compared. As expected, the scans with the all-ceramic bridge showed a clearly better assessment. An influence of the exposure or contrast mode on the assessment was not identified. By contrast, there were differences between the individual parameter groups in the scans with the non-precious alloy bridge. The assessments at an exposure of 14 or 28 mAs were more independent of the selected contrast setting, and the high contrast program had a positive effect in avoiding metal-dependent artefacts at an exposure of 42 mAs. Because of the small differences in the assessments, it can be assumed that the assessment of the respective parameter group was uniform.

Following the cumulated assessments, the ROI assessments according to scan parameters were compared. The assessments of the distal approximal contact of tooth 21 in the immediate vicinity of the bridge (*approximal prosthesis ROI*), like the cumulated assessments, showed a clear difference with regard to the artefact effect due to the employed material. The scans with the metal bridge were completely unusable for diagnosing dental health in the region in question because of the imaging artefacts, even if the standard contrast scan with an exposure of 28 mAs was assessed somewhat less poorly. The influence of

PROTH. TÄTIGE ZÄ/ DENTISTS IN PROSTH. DENTISTRY	Unter. / Exam.	1	2	3	4	5	Mittel / Mean	Unter. / Exam.	1	2	3	4	5	Mittel / Mean
Mat. und Belicht. / Material and exposure	ROI							ROI						
K14H	11	2	2	2	2	2	2	24	2	4	4	1	2	2,6/2.6
K14N	11	1	1	1	2	2	1,4/1.4	24	2	4	4	3	3	3,2/3.2
K28H	11	1	2	1	2	1	1,4/1.4	24	2	5	4	3	3	3,4/3.4
K28N	11	1	1	1	2	2	1,4/1.4	24	2	5	4	4	3	3,6/3.6
K42H	11	2	1	2	2	1	1,6/1.6	24	3	5	4	5	5	4,4/4.4
K42N	11	1	1	2	2	1	1,4/1.4	24	3	5	4	4	3	3,8/3.8
N14H	11	1	1	3	2	2	1,8/1.8	24	4	5	4	2	4	3,8/3.8
N14N	11	2	1	1	2	2	1,6/1.6	24	2	5	4	5	3	3,8/3.8
N28H	11	1	1	3	2	1	1,6/1.6	24	2	5	5	2	2	3,2/3.2
N28N	11	1	1	3	2	2	1,8/1.8	24	4	5	5	4	3	4,2/4.2
N42H	11	1	2	2	2	2	1,8/1.8	24	2	5	4	2	2	3
N42N	11	1	1	1	2	2	1,4/1.4	24	4	5	4	5	3	4,2/4.2
K14H	12	1	1	1	1	1	1	26	1	1	2	1	2	1,4/1.4
K14N	12	1	1	1	1	1	1	26	2	2	2	2	3	2,2/2.2
K28H	12	1	1	1	1	2	1,2/1.2	26	1	1	3	2	1	1,6/1.6
K28N	12	1	1	2	2	2	1,6/1.6	26	1	4	5	3	2	3
K42H	12	1	1	2	1	1	1,2/1.2	26	2	4	2	2	2	2,4/2.4
K42N	12	1	1	1	1	3	1,4/1.4	26	1	2	3	2	3	2,2/2.2
N14H	12	2	2	2	3	2	2,2/2.2	26	2	4	4	2	3	3
N14N	12	1	1	2	1	2	1,4/1.4	26	2	4	5	2	3	3,2/3.2
N28H	12	2	2	1	2	2	1,8/1.8	26	4	4	4	3	4	3,8/3.8
N28N	12	2	1	2	1	2	1,6/1.6	26	2	5	4	2	4	3,4/3.4
N42H	12	2	1	2	1	2	1,6/1.6	26	2	4	4	2	4	3,2/3.2
N42N	12	2	2	2	2	4	2,4/2.4	26	2	4	4	2	4	3,2/3.2
K14H	21	2	2	1	2	1	1,6/1.6	ZE/bridge	1	1	2	1	1	1,2/1.2
K14N	21	2	1	1	2	1	1,4/1.4	ZE/bridge	1	2	1	1	1	1,2/1.2
K28H	21	2	2	1	2	2	1,8/1.8	ZE/bridge	1	2	1	1	1	1,2/1.2
K28N	21	2	3	2	2	2	2,2/2.2	ZE/bridge	1	1	1	1	1	1
K42H	21	2	2	2	2	2	2	ZE/bridge	1	2	1	1	2	1,4/1.4
K42N	21	2	1	2	2	2	1,8/1.8	ZE/bridge	1	1	2	1	1	1,2/1.2
N14H	21	4	5	5	2	5	4,2/4.2	ZE/bridge	2	4	4	5	4	3,8/3.8
N14N	21	4	5	5	2	5	4,2/4.2	ZE/bridge	4	5	3	3	4	3,8/3.8
N28H	21	5	5	5	2	4	4,2/4.2	ZE/bridge	4	4	4	4	5	4,2/4.2
N28N	21	4	4	5	4	5	4,4/4.4	ZE/bridge	3	5	5	5	4	4,4/4.4
N42H	21	4	5	4	3	5	4,2/4.2	ZE/bridge	2	4	4	4	4	3,6/3.6
N42N	21	4	5	5	2	5	4,2/4.2	ZE/bridge	4	5	4	5	4	4,4/4.4
K14H	22	1	2	1	1	2	1,4/1.4	23	1	1	2	1	1	1,2/1.2
K14N	22	1	1	2	1	2	1,4/1.4	23	1	1	2	1	1	1,2/1.2
K28H	22	1	1	1	1	1	1	23	1	1	2	1	1	1,2/1.2
K28N	22	1	1	2	1	2	1,4/1.4	23	1	1	2	1	1	1,2/1.2
K42H	22	1	2	1	1	2	1,4/1.4	23	1	1	1	1	2	1,2/1.2
K42N	22	1	1	2	1	2	1,4/1.4	23	1	1	3	1	1	1,4/1.4
N14H	22	2	4	4	2	4	3,2/3.2	23	1	4	4	1	4	2,8/2.8
N14N	22	2	4	4	3	4	3,4/3.4	23	1	4	4	2	4	3
N28H	22	2	4	4	2	3	3	23	2	2	4	2	4	2,8/2.8
N28N	22	2	5	4	3	4	3,6/3.6	23	2	3	3	2	2	2,4/2.4
N42H	22	2	4	4	2	4	3,2/3.2	23	1	2	2	1	2	1,6/1.6

Tabelle 3 Bewertung der überwiegend prothetisch tätigen Zahnärzte
Table 3 Evaluation by dentists working mainly in prosthetic dentistry

men mit der Metallbrücke waren aufgrund der Bildartefakte für die Diagnostik der Zahngesundheit in der fraglichen Region vollständig unbrauchbar, auch wenn die Standardkontrastaufnahme mit einer Belichtung von 28 mAs etwas weniger schlecht beurteilt wurde. Der Einfluss der Keramikbrücke auf die Bildqualität wurde für alle Aufnahmeparameter als nicht entscheidend für die Fragestellung eingestuft. Bewertungsabweichungen bei

the ceramic bridge on image quality was classified as not critical for the ROI for all scan parameters. Differences in the assessments for the parameters of contrast and exposure were not apparent within the ceramic scans.

Assessment of the carious brushing furrow cervical to the crown margin of tooth 23 (*brushing furrow* ROI) showed obvious differences between the scans with the metal and those

den Parametern Kontrast und Belichtung wurden innerhalb der Keramikgruppe nicht deutlich.

Die Beurteilung der Erkennbarkeit des kariösen Putzdefekts zervikal des Kronenrands an Zahn 23 (ROI *Putzdefekt*) zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Aufnahmen mit der Metall- und der Keramikbrücke. Für Letztere wurde der Artefakt-einfluss auf die Erkennbarkeit der gefragten Region als nicht vorhanden bis gering eingestuft. Bei der Metallbrücke variieren die Bewertungen zwischen den einzelnen Aufnahmeparametern z.T. erheblich. Für die Beurteilung des Kronenrands scheint eine Belichtung von 14 mAs unabhängig von dem gewählten Kontrastprogramm weniger geeignet zu sein als die Standardkontrastaufnahme mit 28 mAs bzw. die noch besser bewertete Hochkontrastaufnahme mit 42 mAs.

Die Beurteilung der ROI *Extraktionsalveole* war von den Parametern unabhängig einheitlich schlecht. Die große Streuung der Beurteilungen innerhalb einer Aufnahme und die einheitliche Bewertung unabhängig von ZE-Material, Belichtung und Kontrasteinstellung lassen darauf schließen, dass eine Longitudinalschnittdarstellung durch eine dünne Knochenlamelle nicht zur Beurteilung der Hartgewebekontinuität in diesem Bereich geeignet ist.

Bei der Beurteilung des krestalen Knochens im Bereich des Alveoleneingangs in regio 022 bei direkter Nachbarschaft zu dem eingesetzten Zahnersatz zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den Materialien. Bei den Aufnahmen mit der Keramikbrücke waren die Ergebnisse unabhängig von Belichtung und Kontrastprogramm einheitlich sehr gut. Bei Aufnahmen mit der NEM-Brücke legen die Ergebnisse für eine niedrige bis mittlere Belichtung (14 bzw. 28 mAs) die Einstellung des Hochkontrast-, bei Aufnahmen mit einer Belichtung von 42 mAs die Verwendung des Standardkontrastprogramms nahe. Die Bewertungen zeigen, dass die Darstellungsgenauigkeit der Aufnahmen mit der Metallbrücke inhomogener beurteilt wurde und nicht so eindeutig interpretierbar ist wie bei keramischem Zahnersatz.

Die ROI *Axialansicht OK* diente der Beurteilung der Darstellungsgenauigkeit der eingegliederten Prothetik. Bei eingesetztem keramischem Zahnersatz wurde die Erkennbarkeit der Brücken-umrisse einheitlich als sehr gut eingestuft, bei den Aufnahmen mit der NEM-Brücke war der Artefakteinfluss deutlich bis erheblich, so dass eine gesicherte Aussage über die Umrisse nicht gemacht werden konnte. Die Parameter Kontrast und Belichtung zeigten keinen nennenswerten Einfluss auf die Bewertungen.

Die Beurteilungen des krestalen Knochens im Bereich des Alveoleneingangs in regio 026 (ROI *Kieferkamm SZ*) zeigen ebenfalls einen klaren Unterschied zwischen den Bewertungen der Aufnahmen mit der keramischen und den Aufnahmen mit der Metallbrücke. Die Untersuchung des Knochenangebots scheint auch in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem keramischen Schwebeglied nicht durch materialbedingte Artefakte beeinflusst zu werden. Eindeutige Einflüsse von Kontrastmodus oder Belichtungseinstellung konnten nicht festgestellt werden. Im Gegensatz zum metallfreien Zahnersatz macht das NEM-Schwebeglied eine eindeutige Diagnostik unmöglich. Selbst die für diese Fragestellung besten Aufnahmeparameter, 14 mAs und Hochkontrastprogramm, liefern keine valide Grundlage für eine weitere therapeutische Planung.

Die ROI *apikale Dehiscenz* weist, anders als die bisher betrachteten ROIs, keine unmittelbare Nähe zum eingegliederten

with the ceramic bridge. For the latter, the effect of artefact on the identification of the region in question was classified as absent or slight. With the metal bridge, the assessments varied between the individual scan parameters, sometimes considerably. For assessing the crown margin, an exposure of 14 mAs appears to be less suitable, regardless of the selected contrast, than the standard contrast scan with an exposure of 28 mAs or the even better high contrast scan with exposure of 42 mAs.

The assessment of the *extraction socket* ROI was uniformly poor, independent of the parameters. The wide scatter of the assessments within one scan and the uniform assessment independent of bridge material, exposure and contrast suggest that imaging of a longitudinal section through a thin layer of bone is not suitable for assessing hard tissue continuity in this region.

When the crestal bone at the socket inlet in region 022 in the direct vicinity of the bridge was considered, there was likewise a significant difference between the materials. In the scans with the ceramic bridge, the results were uniformly very good independent of exposure and contrast setting. In scans with the non-precious alloy bridge, the results for low to medium exposure (14 and 28 mAs) suggest use of the high contrast setting and use of the standard contrast setting with an exposure of 42 mAs. The assessments show that the imaging precision of the scans with the metal bridge was regarded as less homogeneous and not as readily interpretable as with the ceramic bridge.

The *axial view of maxilla* ROI was used to assess the imaging precision of the fitted prosthesis. Identification of the bridge contours was classified uniformly as very good with the ceramic bridge but the effect of artefact was obvious to major in the scans with the non-precious alloy bridge so that a confirmed conclusion about the contours could not be drawn. The contrast and exposure parameters did not have a significant influence on the assessments.

The assessments of the crestal bone at the socket inlet in region 026 (*posterior alveolar ridge* ROI) likewise showed a clear difference between the scans with the ceramic bridge and those with the metal bridge. Examination of the bone supply does not appear to be affected by material-related artefacts in the immediate vicinity of a ceramic pontic. A clear influence of contrast mode or exposure setting was not found. In contrast to the metal-free bridge, the non-precious alloy pontic makes clear diagnosis impossible. Even the best scan parameters for this ROI, 14 mAs and high contrast setting, do not deliver a valid basis for further therapeutic planning.

The *apical dehiscence* ROI, unlike the other ROIs considered, is not in the immediate vicinity of the bridge. The bone defect in question is located in the first quadrant (tooth 12) and the bridge is located in the second quadrant (22 to 26). That is, any interference with the assessment may be caused in scattered radiation extending as far as the contralateral quadrant. On the other hand, limitation of the assessment may be blamed on the altered gray tone imaging that results from the greater range of densities in the examination space. Since the human eye is not capable of distinguishing all possible gray tones that result from assignment of each measured absorption value, the gray tones are distributed over a limited scale according to the measured densities so that diagnostically relevant results can be better identified. The assessments of the *apical dehiscence* ROI showed somewhat better results with the scans taken with

Zahnersatz auf. Der fragliche Knochendefekt befindet sich im ersten Quadranten (Zahn 12), die eingegliederte Brücke befindet sich im zweiten Quadranten (22 bis 26). D.h., eventuelle Beeinträchtigungen der Beurteilbarkeit können ihre Ursache einerseits in aufgetretener Streustrahlung haben, die bis in den kontralateralen Quadranten reicht. Andererseits kann eine Einschränkung der Beurteilbarkeit der veränderten Grauwertdarstellung geschuldet sein, die sich aus dem größeren Spektrum an Dichtewerten im Untersuchungsraum ergibt. Da das menschliche Auge nicht in der Lage ist, alle möglichen Grauwerte, die sich aus der Zuordnung eines jeden gemessenen Absorptionswerts ergeben, zu unterscheiden, werden entsprechend den gemessenen Dichtewerten die Grauwerte über eine eingeschränkte Skala verteilt, um diagnostisch relevante Befunde besser erkennen zu können. Die Bewertungen der ROI *apikale Dehiszenz* zeigten eine etwas bessere Beurteilbarkeit der Aufnahmen, die mit der Keramikbrücke gemacht wurden. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Aufnahmen mit der keramischen und der NEM-Brücke konnten jedoch nicht festgestellt werden.

Die ROI *Approximal Zahn* untersuchte, wie die vorangestellte ROI, eine Region im ersten Quadranten ohne direkten Kontakt zum eingegliederten Zahnersatz. Feststellbare Minderungen der Beurteilbarkeit wären auf die gleichen Gründe zurückzuführen. Bei der Auswertung der Beurteilungen zeigte sich ein einheitliches Ergebnis ohne erkennbare Einflüsse durch ZEMaterial, Kontrasteinstellung oder Belichtung. Da die ROI *Approximal Zahn* sich auf einer horizontalen Ebene mit der Brücke und räumlich näher an dem Zahnersatz befindet, ist davon auszugehen, dass die etwas schlechtere Beurteilbarkeit der ROI *apikale Dehiszenz* durch die veränderte Grauwertdarstellung und nicht durch auftretende Metallartefakte verursacht wurde.

Die hier beschriebenen Materialeinflüsse auf die Beurteilbarkeit der DVT-Aufnahmen durch Artefakte decken sich mit den in der Literatur beschriebenen Phänomenen [1, 5, 12]. Studien zum Artefakteinfluss keramischen Zahnersatzes auf die Bildqualität von dreidimensionalen Röntgensystemen lagen zum Zeitpunkt der Studie nicht vor. *Matthew Sanders* zeigte jedoch schon 2007, dass verschiedene Bracketmaterialien, die in der Kieferorthopädie eingesetzt werden, die diagnostische Qualität von DVT-Aufnahmen beeinträchtigen können [11]. So fand er einen statistisch signifikanten Einfluss bei Aufnahmen mit Titan- und Keramikbrackets. Die Aufnahmen wurden im Gegensatz zu den Scans der vorliegenden Arbeit nicht mit einem Phantom, sondern mit Humanpräparaten angefertigt.

Der Einfluss von Metallartefakten in dreidimensionalen Röntgenaufnahmen wurde in der Literatur ausführlich beschrieben [3, 10]. Unabhängig davon, ob für diese Studien Humanpräparate oder Phantome verwendet wurden, zeigte sich eine deutliche Beeinflussung der angefertigten Aufnahmen durch metallische Fremdkörper im Strahlengang. Das in dieser Arbeit untersuchte Phantom könnte zukünftig die Möglichkeit bieten, die materialbedingten Einflüsse von Zahnersatz auf die Beurteilbarkeit von DVT-Aufnahmen weiter zu untersuchen und zu quantifizieren.

Schlussfolgerung

Die Beurteilungen der ROIs „Putzdefekt“, „Approximal ZE“, „Kieferkamm FZ“ und „Axialansicht OK“ machen deutlich,

die ceramic bridge. However, statistically significant differences were not found between scans with the ceramic bridge and those with the non-precious alloy bridge.

The *approximal tooth* ROI, like the previous ROI, investigated a region in the first quadrant without direct contact to the prosthesis. Reductions in assessability would be attributable to the same reasons. When the assessments were analyzed, the result was uniform, without identifiable influences due to bridge material, contrast setting or exposure. Since the *approximal tooth* ROI is located on a horizontal plane with the bridge and is spatially closer to the prosthesis, it can be assumed that the somewhat poorer assessment of the *apical dehiscence* ROI was caused by the altered gray tone imaging and not by metal artefacts.

The material-related influences on the assessment of cone-beam CT scans caused by artefacts correspond to the phenomena described in the literature [1, 5, 12]. Studies of the artefact effect of a ceramic prosthesis on the image quality of three-dimensional X-ray systems were not available at the time of the study. However, *Matthew Sanders* showed in 2007 that different bracket materials used in orthodontics can interfere with the diagnostic quality of cone-beam CT scans [11]. He found a statistically significant influence in scans with titanium and ceramic brackets. In contrast to the scans in the present study, the scans were not taken with a phantom but with human preparations.

The effect of metal artefacts in three-dimensional radiographs was described in detail in the literature [3, 10]. Independent of whether human preparations or phantoms were used for these studies, metallic foreign bodies in the radiation beam showed an obvious effect on the scans. The phantom used in this study might offer a possibility in future for further investigating and quantifying the material-related influence of dental prostheses on the assessment of cone-beam CT scans.

Conclusion

The assessments of the “brushing furrow”, “approximal tooth”, “anterior alveolar ridge” and “axial view of maxilla” ROIs make it clear that the material of a prosthesis has a considerable influence on the production of artefacts in the immediate vicinity of the prosthesis. An effect on the scan parameters of contrast and exposure time was not found when these ROIs were considered. There was evidence only for the “brushing furrow” ROI that similarly good assessments can be achieved by a scan with an exposure of 42 mAs in high contrast mode as by scans with a ceramic bridge. Overall, the results of this study showed that when the prosthesis is directly in the vicinity of the region being examined, metal-based restorations can markedly worsen the assessability of cone-beam CT scans, compared with ceramic restorations. A firm recommendation of a specific contrast setting or exposure time for a certain query, especially for implant planning, cannot be deduced statistically. If the examined region is at least one anterior tooth width distant from the restoration, the influence of the restoration material can no longer be established statistically. Longitudinal sections are not usable for assessing thin bone structures, independent of prosthetic material or scan parameters.

dass der Materialeinfluss auf die Artefaktbildung bei unmittelbarer Nachbarschaft zu dem eingegliederten Zahnersatz erheblich ist. Eine Auswirkung der Aufnahmeparameter Kontrast und Belichtungszeit konnte bei der Betrachtung der jeweiligen ROIs nicht festgestellt werden. Lediglich für die ROI „Putzdefekt“ wurde ein Hinweis darauf festgestellt, dass durch eine Aufnahme mit einer Belichtungszeit von 42 mAs im Hochkontrastmodus ähnlich gute Beurteilungen erreicht werden können wie bei Aufnahmen mit keramischem Ersatz. Insgesamt konnten die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass bei direkter Nachbarschaft zwischen Zahnersatz und zu untersuchender Region metallbasierte Restaurationen im Gegensatz zu Keramik die Beurteilbarkeit von DVT-Aufnahmen deutlich verschlechtern können. Eine prinzipielle Empfehlung zugunsten einer konkreten Kontrasteinstellung oder Belichtungszeit für eine bestimmte Fragestellung, insbesondere für die Implantatplanung, lässt sich statistisch nicht herleiten. Befindet sich die untersuchte Region mindestens eine Frontzahnbreite von der Restauration entfernt, ist der Einfluss des Restaurationsmaterials statistisch nicht mehr feststellbar. Für die Beurteilung dünner Knochenstrukturen sind Longitudinalschnitte unabhängig von Zahnersatzmaterial oder Aufnahmeparameter nicht verwertbar.

Interessenkonflikt: Der Autor J. Neugebauer gibt als möglichen Interessenkonflikt an, für die Firma Sirona, Bensheim, Vortragstätigkeiten durchgeführt zu haben. Die Autoren K.-P. Zimmermann und P. Gehrke erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Zitierweise: Zimmermann K-P, Gehrke P, Neugebauer J: Experimentelle Untersuchung zum Einfluss materialabhängiger Bildartefakte auf die Beurteilbarkeit im digitalen Volumentomogramm. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;30:38–52

DOI 10.3238/ZZI.2014.0038–0052

Authors' conflicts of interest declaration:

J. Neugebauer declares a possible conflict of interest in that he has lectured for Sirona, Bensheim, Germany. K.-P. Zimmermann and P. Gehrke deny conflicts of interest according to the guidelines of the International Committee of Medical Journal Editors.

Citation:

Zimmermann K-P, Gehrke P, Neugebauer J: Experimental study on the influence of material-related artefacts on cone-beam CT assessment. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;30:38–52

DOI 10.3238/ZZI.2014.0038–0052

Korrespondenzadresse

Dr. Kai-Peter Zimmermann
Praxis Prof. Dr. Dhom & Partner
Bismarckstraße 27
67059 Ludwigshafen
Tel.: 0621 6812-4444
kai_peterz@hotmail.com

Literatur

- Baba R, Ueda K, Okabe M: Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:285–290
- Bechara BB, Moore WS, McMahan CA, Noujeim M: Metal artefact reduction with cone beam CT: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2012;41:248–253. doi: 10.1259/dmfr/80899839. Epub 2012 Jan 12
- Draenert FG, Coppenrath E, Herzog P, Muller S, Mueller-Lisse UG: Beam hardening artefacts occur in dental implant scans with the NewTom cone beam CT but not with the dental 4-row multidetector CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36:198–203
- Farman AG: ALARA still applies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;100:395–397
- Jackowski C, Lussi A, Classens M et al.: Extended CT scale overcomes restoration caused streak artifacts for dental identification in CT – 3D color encoded automatic discrimination of dental restorations. *J Comput Assist Tomogr* 2006;30:510–513
- Kappert H, Krah M: Keramiken – eine Übersicht. *Quintessenz Zahntech* 2001;27:668–704
- Kaugars GE, Collett WK: Panoramic ghosts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987; 63:103–108
- Lund H, Grondahl K, Grondahl HG: Accuracy and precision of linear measurements in cone beam computed tomography Accutomo tomograms obtained with different reconstruction techniques. *Dentomaxillofac Radiol* 2009;38:379–386
- Okuda Y, Noda M, Kono H, Miyamoto M, Sato H, Ban S: Radio-opacity of core materials for all-ceramic restorations. *Dent Mater J* 2010;29:35–40
- Perrella A, Lopes PM, Rocha RG, Fenyopereira M, Cavalcanti MG: Influence of dental metallic artifact from multislice CT in the assessment of simulated mandibular lesions. *J Appl Oral Sci* 2010; 18:149–154
- Sanders MA, Hoyjberg C, Chu CB, Leggett VL, Kim JS: Common orthodontic appliances cause artifacts that degrade the diagnostic quality of CBCT images. *J Calif Dent Assoc* 2007;35:850–857
- Schulze RK, Berndt D, d'Hoedt B: On cone-beam computed tomography artifacts induced by titanium implants. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:100–107
- Visconti MA, Verner FS, Assis NM, Devito KL: Influence of maxillomandibular positioning in cone beam computed tomography for implant planning. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:880–886. doi:pii: S0901–5027(13)00109–4.10.1016/j.ijom.2013.03.001
- Zhang Y, Zhang L, Zhu XR, Lee AK, Chambers M, Dong L: Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;67:924–932